

東北大学工学部 学生員 ○中村寛治
 東北大学工学部 正会員 松本順一郎
 東北大学工学部 正会員 野池達也

1. はじめに 鉄酸化バクテリア硫酸鉄を含む鉱山地域に生息する好気性細菌で、鉱山から排出される鉱山排水中の第1鉄を第2鉄に酸化して増殖エネルギーを得、カルビン回路により空気中の CO_2 を固定している。大きさはおよそ $0.5 \times 1.0 \mu\text{m}$ の桿菌で最適pHは2.5~3.5、最適水温は25~35℃の範囲にある。現在、鉄酸化バクテリアのこの第1鉄酸化作用を利用して鉱山排水中の第1鉄を第2鉄に酸化し、その後炭酸カルシウムにより中和処理する方法が岩手県の松尾鉱山跡で行なわれている。鉄酸化バクテリアに関する研究は従来から数多く発表されているが、回分実験によるものも多く、連続実験による研究はほとんどない。本研究では鉄酸化バクテリアが自然界で影響を受ける様々な環境因子のうち、pHを取り上げ、鉄酸化バクテリアの第1鉄酸化作用におよぼすpHの影響を回転円板装置を用いた連続実験により検討を行った。

2. 実験装置および方法 回転円板装置は図-1に示す通りである。鉄酸化バクテリアは岩手県の松尾鉱山跡と流れる赤川(北上川2次支川)より採取したもので、9K培地により水温20℃で通気培養して与えものを使用した。まず酸化反応槽内に9K培地中の第1鉄を酸化し終わって鉄酸化バクテリアの菌溶液を入れこみに9K培地を加えて回分状態で約1週間まわした。こうしてある程度、鉄酸化バクテリアを円板表面に付着させた後、表-1に示す基質を連続的に供給した。回転円板は2系列運転し、1系列は流入pH 2.5から開始し定常値が得られた後2.3に下げ、その後2.0→1.8→1.6→1.3→1.0とpHを徐々に低下させた。そして他の1系列は流入pH 3.0より開始し3.5→4.2と徐々にpHを上昇させた。水温は20℃、滞留時間は60分に設定した。分析項目は第1鉄、全鉄、pH、細菌数で、第1鉄はJIS K0102 KMnO_4 法、全鉄は原子吸光光度計、pHはpHメーター、細菌数は位相差顕微鏡600倍でThomaの血球計算盤を用いて測定した。

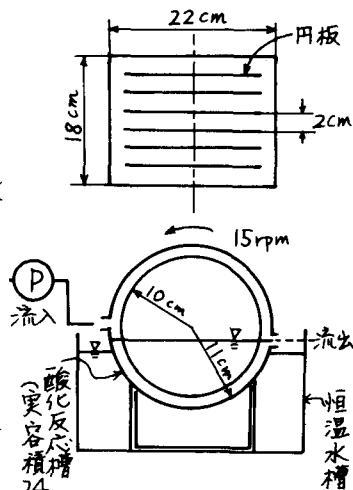


図-1 回転円板装置

3. 実験結果および考察

3-1. 経日変化について 基質のpHが2.0以上の条件下では円板表面の鉄の付着物は安定していたが、pHが1.8に低下すると鉄の付着物が徐々に溶出しはじめ流出全Feが流入全Feより60%程度高い値を示した。鉄の溶出した後には薄い粘質状の膜が残った。この時鉄の溶出により酸化率が低下を受けず、78%を維持した。このことから鉄酸化バクテリアは鉄の付着物中ではなく粘質状の膜中に大部分が存在していたことが推察できる。またpHを1.6に低下させると鉄の付着物はさらに溶出し、5日目ではほぼ完全に溶出してしまった。その際、粘質状の膜もある程度円板表面から脱落したため酸化率は一時低下したが徐々に回復し定常時には81%にまで達した。McGowanらは鉄酸化バクテリアの付着物に対する強い吸着性を主張しているが、今回の実験では鉄の付着物の存在の有無が酸化率に与える影響は全くみられなかった。その後pHを1.3、1.0と低下させたが、pH 1.3では酸化率が78%、pH 1.0では74%となり、pH

表-1 基質組成(1日中)

成 分	量
$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	2.5 g ($\text{Fe}^{2+} = 500 \text{ mg/l}$)
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	150 mg
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	25 mg
K_2HPO_4	25 mg
KCl	5 mg
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	0.5 mg
10N H_2SO_4	適 宜
水道水で調整	

1.6とくらべてわずかに低下しただけであった。以上のことから鉄酸化バクテリアは鉄の付着物がつくことが可能な低pHの条件下でも同極表面上に発達する。薄い粘質状の膜中で増殖して、第1鉄酸化を高レベルで行なうことが可能であるということも明らかとなった。

3-2. 酸化率について 流入pHと酸化率の関係を図-2に示す。この図によるとpHが2.5より低い範囲では酸化率はpH1.0で若干低下し75%と下回るとはほとんど80%に近い値を示している。またpHが2.5より高い範囲では酸化率はpH4.2で他に比べてわずかに15%程度低い値を示しているにすぎない。以上のことから、pH1.0~3.5の範囲では酸化率はほとんどpHの影響を受けず高い酸化率を維持できるとも明らかとなった。また若干pHの影響があらわれたpH4.2における酸化率は62%とそれほど著しい酸化率の低下はみられなかった。

3-3. 浮遊菌数および付着菌数について 流入pHと浮遊菌数、流入pHと付着菌数の関係を図-3、図-4に示す。浮遊菌数は $5 \times 10^5 \sim 5 \times 10^6$ cell/mlでpH2.0において最大値 4.01×10^6 cell/mlを示し、付着菌数は $2 \times 10^7 \sim 2 \times 10^8$ cell/cm²でpH2.3において最大値 1.69×10^8 cell/cm²を示した。最大値を示したpHは2.0と2.3とそれぞれ異なるが両図とも併発はよく似ており、付着菌数と浮遊菌数の間に密接な関係があることを表わしている。また図-5に流入pHと比酸化速度の関係を示す。比酸化速度は付着菌1 cell当たりの日酸化量を表わすもので、pH1.0~2.0の範囲ではおよそ 10^{-10} gFe²⁺/cell・日、pH2.3~2.5の範囲では 5×10^{-11} gFe²⁺/cell・日、pH3.0~4.2の範囲ではおよそ 2×10^{-10} gFe²⁺/cell・日となった。図-2に示したように酸化率はpH1.0~4.2の間に変化はほとんどみられずほぼ一定の値をとっている。この実験では第1鉄の濃度が一定であるのでこれは第1鉄の日酸化量が一定であることを意味している。図-5の比酸化速度は2のほぼ一定な日酸化量を付着菌数で割ったものなので併発は図-4の流入pHと付着菌数の凹凸を全く逆にした形状となっている。つまり付着菌数が多くなると比酸化速度は小さい値となる。本実験で鉄酸化バクテリアの最適pH域にあてはまるpH2.3で付着菌数が最大となり、比酸化速度(最大)となったが、これは最適pH域では第1鉄酸化で得られるエネルギーが運ばれに増殖にまわらなければ付着菌数が増えるが、pHが最適域からずれると得られるエネルギーが消費されるため増殖にまわるエネルギーが最適pH域の時より少なくなり、その結果として付着菌数が減少し、比酸化速度は大きい値として算出されるのではないかと推論される。

(参考文献) 1) McGoran et al : Can. J. Microbiol., Vol 15, p 135, (1969)

2) Olem & Unz : Biotechnol. Bioeng., Vol 19, p 1475, (1977)

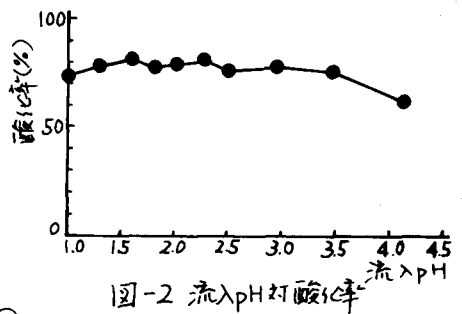


図-2 流入pHと酸化率

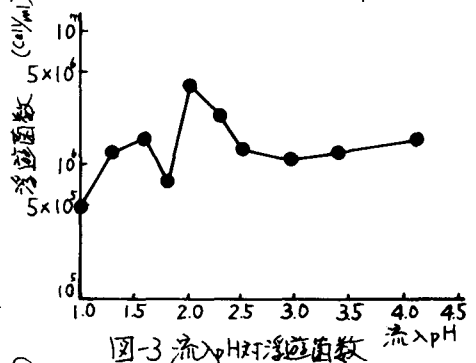


図-3 流入pHと浮遊菌数

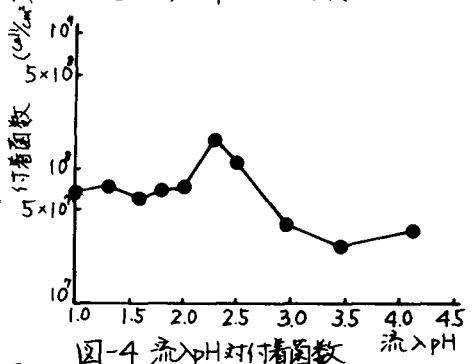


図-4 流入pHと付着菌数

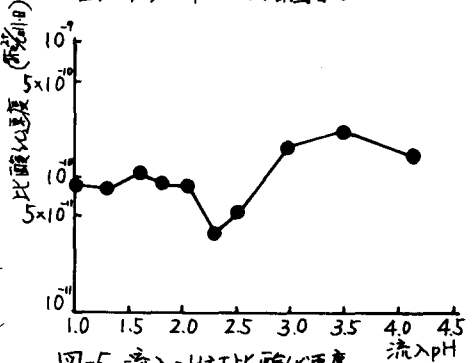


図-5 流入pHと比酸化速度